〈目次〉

第 1 講　力学 ―― p.2

第 2 講　熱力学 ―― p.6

第 3 講　電磁気学 ―― p.12

第 4 講　波動・原子 ―― p.15

第１講　力学

1

以下の$\boxed{\ 1\ }$から$\boxed{\ 8\ }$にあてはまる最も適切な答えを各解答群から1つ選べ。ただし，同じ番号をくり返し選んでもよい。数値を選ぶ場合は最も近い値を選ぶものとする。

水平におかれたレールに質量Mの小物体Bが取り付けられており，Bはレールにそって水平方向になめらかに動くことができる。Bには長さlの軽くて伸び縮みしない糸が結ばれており，糸の他端には質量m（$m < M$）の小物体Aが取り付けられている。このとき，重力加速度の大きさをgとし，空気抵抗は無視できるとする。

なお，AとBの運動はレールを含む鉛直平面内で行なわれ，レールは十分に長いのでBはレールからはずれないとする。

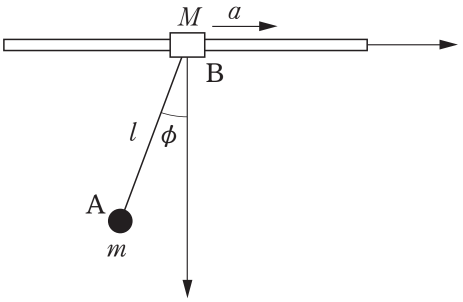


図１

(1)　図1のように，Bが大きさaの一定の加速度で水平右向きに移動しているとき，糸は鉛直方向から角度ϕだけ傾いていた。このとき，糸の張力の大きさは$\boxed{\ 1\ }$であり，Bの加速度の大きさaはϕとgを用いて$\boxed{\ 2\ }$と表すことができる。さらに，Aを鉛直平面内で小さく振動させると，AはBから見て周期が$\boxed{\ 3\ }$の振動をする。

$\boxed{\ 1\ }$の解答群

① $\dfrac{mg}{2\sin\phi}$　② $\dfrac{mg}{2\cos\phi}$　③ $\dfrac{mg}{2\tan\phi}$

④ $\dfrac{mg}{\sin\phi}$　⑤ $\dfrac{mg}{\cos\phi}$　⑥ $\dfrac{mg}{\tan\phi}$

⑦ $\dfrac{2mg}{\sin\phi}$　⑧ $\dfrac{2mg}{\cos\phi}$　⑨ $\dfrac{2mg}{\tan\phi}$

$\boxed{\ 2\ }$の解答群

① $g\sin\phi$　② $g\cos\phi$　③ $g\tan\phi$

④ $\dfrac{g}{\sin\phi}$　⑤ $\dfrac{g}{\cos\phi}$　⑥ $\dfrac{g}{\tan\phi}$

⑦ $g\sin\phi\cos\phi$　⑧ $g\sin^2\phi$　③ $g\cos^2\phi$

[3]の解答群

① $2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$　② $2\pi\sqrt{\dfrac{l}{a}}$　③ $2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g+a}}$　④ $2\pi\sqrt{\dfrac{l}{ga}}$

⑤ $2\pi\sqrt{\dfrac{l^2}{ga}}$　⑥ $2\pi\sqrt{\dfrac{l}{\sqrt{ga}}}$　⑦ $2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g^2+a^2}}$　⑧ $2\pi\sqrt{\dfrac{l}{\sqrt{g^2+a^2}}}$

(2) 次に，図２のように糸をたるませないようにしながらAを鉛直方向から角度θ（$0<\theta<90°$）だけずらして，AとBを手でおさえて静止させた。このとき，Bが静止していた位置を原点とし，水平右向きにx軸を，鉛直下向きにy軸をとる。そしてBをおさえたままAから手を静かに離すと，Aは動き出して最下点に達した。Aが最下点に達したときのAの速度のx成分v_0は$v_0=$[4]であり，このときの糸の張力の大きさは[5]である。

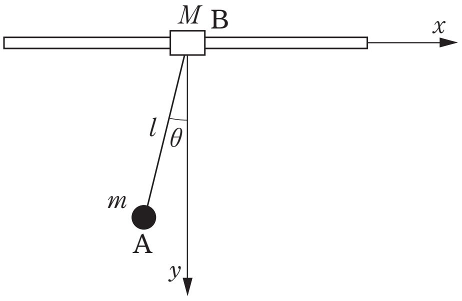


図２

Aが最下点に達したときに，Bから手を静かに離した。ここで，Bから手を静かに離したあとのAとBの運動について考える。この場合のAの速度のx成分をv_A，Bの速度のx成分をv_Bとすると，x軸方向の運動量は保存されるので，v_Bはv_0とv_Aを用いて$v_B=$[6]と表すことができる。最下点を通り過ぎたAが再び最下点に達するまでの間で，Aが最高点に到達したときのv_Bは，v_0を用いると$v_B=$[7]$\times v_0$である。AとBの運動における力学的エネルギー保存則を考えると，この最高点の高さは最下点を基準とすると[8]である。

[4]の解答群

① $\sqrt{2gl}$　② $\sqrt{2gl(1-\sin\theta)}$　③ $\sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$

④ $\sqrt{2gl(1-\tan\theta)}$　⑤ $\sqrt{gl}$　⑥ $\sqrt{gl(3-2\sin\theta)}$

⑦ $\sqrt{gl(3-2\cos\theta)}$　⑧ $\sqrt{gl(3-2\tan\theta)}$

[5]の解答群

① $2mg$　② $2mg(1-\sin\theta)$　③ $2mg(1-\cos\theta)$

④ $2mg(1-\tan\theta)$　⑤ mg　⑥ $mg(3-2\sin\theta)$

⑦ $mg(3-2\cos\theta)$　⑧ $mg(3-2\tan\theta)$

6 の解答群

① $\dfrac{m}{M}(v_0+v_A)$　② $-\dfrac{m}{M}(v_0+v_A)$　③ $\dfrac{m}{M}(v_0-v_A)$

④ $-\dfrac{m}{M}(v_0-v_A)$　⑤ $\dfrac{m}{M}\sqrt{v_0^2+v_A^2}$　⑥ $-\dfrac{m}{M}\sqrt{v_0^2+v_A^2}$

⑦ $\dfrac{m}{M}\sqrt{v_0^2-v_A^2}$　⑧ $-\dfrac{m}{M}\sqrt{v_0^2-v_A^2}$

7 の解答群

① $\dfrac{m}{M}$　② $\dfrac{m}{M+m}$　③ $\dfrac{m}{M-m}$

④ $\dfrac{m}{\sqrt{M^2+m^2}}$　⑤ $\dfrac{m}{\sqrt{M^2-m^2}}$　⑥ $\dfrac{m^2}{M(M+m)}$

⑦ $\dfrac{m^2}{M(M-m)}$　⑧ $\dfrac{m^2}{M\sqrt{M^2+m^2}}$　⑨ $\dfrac{m^2}{M\sqrt{M^2+m^2}}$

8 の解答群

① $\dfrac{v_0^2(M+m)}{2mg}$　② $\dfrac{v_0^2(M-m)}{2mg}$　③ $\dfrac{v_0^2(M+m)}{2Mg}$

④ $\dfrac{v_0^2(M-m)}{2Mg}$　⑤ $\dfrac{mv_0^2}{2g(M+m)}$　⑥ $\dfrac{mv_0^2}{2g(M-m)}$

⑦ $\dfrac{Mv_0^2}{2g(M+m)}$　⑧ $\dfrac{Mv_0^2}{2g(M-m)}$

2

図１のように，軽くて伸びない糸の一端を天井に固定し，なめらかに回転する軽い動滑車Pと定滑車Qに糸を通した。動滑車Pに質量Mの小物体Aを取り付け，糸の他端に質量m($2m<M$)の小物体Bを取り付けた。重力加速度の大きさをgとして，以下の問いについて答えなさい。

(1)　物体Aを水平な台上に置くと，糸はたるむことなく物体Bは静止した(図1)。

(イ)　糸の張力の大きさを求めなさい。

(ロ)　上の(イ)で求めた張力の大きさをTとする。物体Aにはたらく台からの垂直抗力の大きさを求めなさい。

(2)　物体Bを鉛直下向きの力でゆっくりと引き下げ，物体Aの台からの高さがhになったところで物体Bを静止させた(図２)。このとき，

(イ)　物体Bを引き下げた距離を求めなさい。

(ロ)　物体Aの位置エネルギーの変化を求めなさい。

(ハ)　物体Bを引き下げる力がした仕事は物体A，Bの位置エネルギーの変化の和に等しい。この力がした仕事を，M，m，h，gを用いて表しなさい。

(ニ)　物体Bを引く力の大きさをゼロにしたところ，物体Aは台に向かって落下した。物体Aが台に衝突する直前の速さを，M，m，h，gを用いて表しなさい。

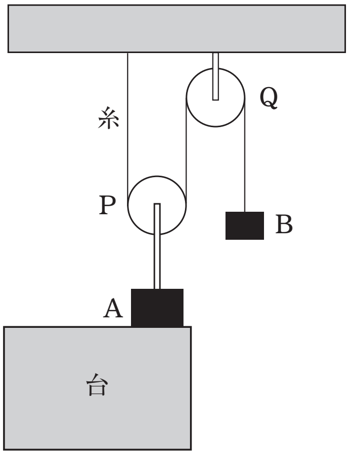


図１

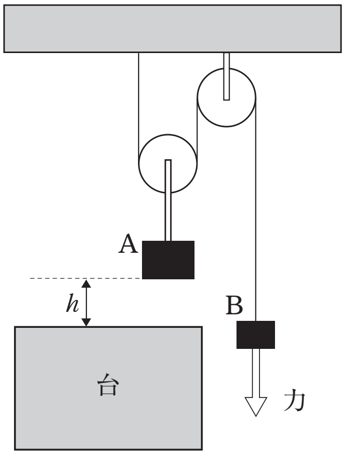


図２

第２講　熱力学

3

下の文が正しい記述になるよう，(あ)～(え)と(ア)～(カ)に以下の選択肢から適切なものを選び番号を答えよ。同じものを何回選択してもよい。また，(a)～(e)には適切な式を入れよ。式はT_A，T_B，T_C，Rから適切な記号を用いて表し，その値が負にならないように示せ。ただし絶対値記号は使わないこと。値がゼロとなる場合は0と記入せよ。

図1のような理想気体の状態変化について考える。なめらかに動くピストンがついた円筒容器内に，単原子分子の理想気体1 molを閉じ込めたところ，その圧力がP_A〔Pa〕，体積がV_A〔m^3〕，温度がT_A〔K〕となった(状態A)。まず，この気体の圧力をP_B〔Pa〕($>P_A$)に定積変化させた(状態B)。その気体の温度はT_B〔K〕となった。この過程で，気体がする仕事量は(a)である。このとき，内部エネルギーは(ア)，気体の温度は(イ)。気体は熱を(あ)，その熱量は(b)である。つぎに，状態Bの気体の圧力をP_A，体積をV_C〔m^3〕($>V_A$)に断熱変化させた(状態C)。その気体の温度はT_C〔K〕となった。この過程で，気体は仕事を(い)，その仕事量は(c)である。また，内部エネルギーは(ウ)，気体の温度は(エ)。このあとさらに，状態Cの気体の体積をV_Aに定圧変化させた(状態A)。この過程で，気体は仕事を(う)，その仕事量は(d)である。内部エネルギーは(オ)，気体の温度は(カ)。このとき，気体は熱を(え)，その熱量は(e)である。ここで，気体定数をR〔J/(mol･K)〕とする。

(あ)～(え)の選択肢：
①外部から吸収し／②外部に放出し／③外部にし／④外部からされ

(ア)～(カ)の選択肢：
⑤増加して／⑥上昇する／⑦減少して／⑧下がる／⑨変化せず／⑩変化しない

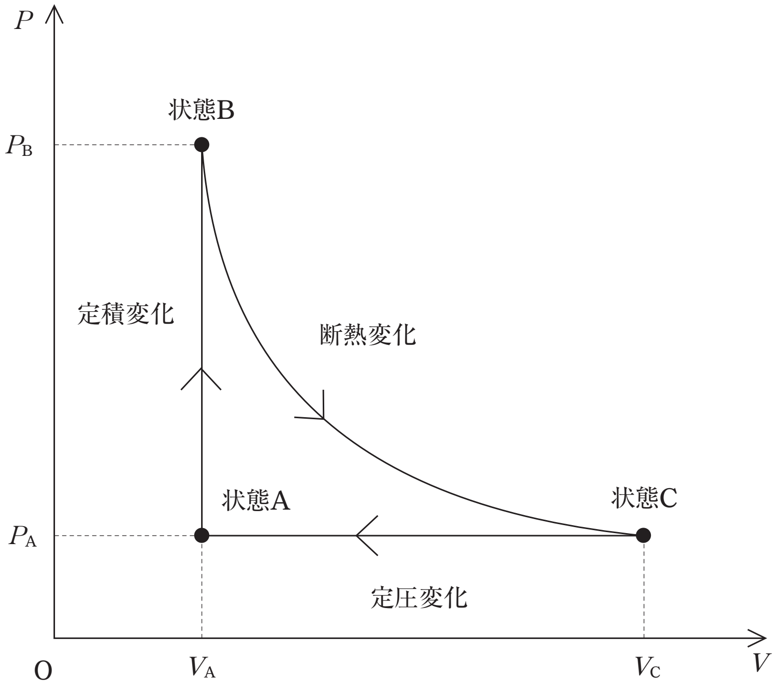


図１

4

次の問題の□の中に入れるべき正しい答をそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を答えなさい。必要なら同一番号を繰り返し用いてよい。

図１のように，西側の平地（A，標高０m）から山すそに沿って上昇した空気のかたまりが，B地点（標高1000 m）から山頂（C，標高2000 m）において雲を形成し雨を降らせ，山頂を越えるときには雲粒（水滴）を含まない空気になったとする。この空気が山を越えて吹き降りて東側の平地（D，標高０m）に達したとき，A地点と比べて空気のかたまりの温度が何度上昇するか考えよう。また，大気に仕切りはないが，その一部分の空気のかたまりについて，ある体積 V〔m^3〕，圧力 p〔Pa〕，温度 T〔K〕，物質量 n〔mol〕を用いて表現できるとし，これを気塊と呼ぶことにする。気塊は大気中をじゅうぶんゆっくり移動するので，V，p，T などはゆっくり変化するとしてよい。気塊が地点A，B，C，Dにあるときの温度をそれぞれ T_A〔K〕，T_B〔K〕，T_C〔K〕，T_D〔K〕とする。空気1 molあたりの質量を $M = 29.0\times10^{-3}$ kg/mol，重力加速度の大きさを $g = 9.81$ m/s^2 とする。また，気体定数を $R = 8.31$ J/(mol･K)，空気の定積モル比熱を $C_v = 20.8$ J/(mol･K)とする。理想気体の定圧モル比熱は $C_p = C_v + R$ で与えられる。設問(ク)，(ケ)，(コ)はもっとも近い値を選びなさい。

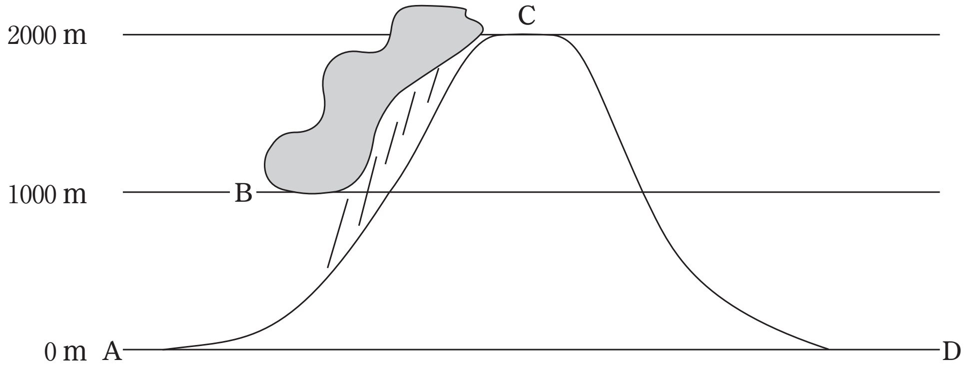


図１

(1)　まず理想気体の状態方程式を考える。物質量nの理想気体の体積をV, 圧力をpとすると，その温度は気体定数Rを用いて，$T=$ (ア) と表される。状態がわずかに変化して体積が$V+\Delta V$, 圧力が$p+\Delta p$に変わったとき，温度が$T+\Delta T$に変わったとする。ここで，$|\Delta p|$, $|\Delta V|$, $|\Delta T|$はそれぞれp, V, Tに対してじゅうぶんに小さい量である。これらに理想気体の状態方程式を適用し, 微小量どうしの積は非常に小さいと考えて無視すると,

$$p\Delta V+V\Delta p=\boxed{(イ)} \qquad (式Ⅰ)$$

となる。

物質量nの理想気体がQの熱を受けてそのために温度がΔTだけ上昇し，体積がΔVだけ膨張したとすると，定積モル比熱C_vを用いて，

$$Q=\boxed{(ウ)}+p\Delta V$$

と表される。(式Ⅰ)を用いてΔVを消去すると

$$Q=\boxed{(エ)}-V\Delta p \qquad (式Ⅱ)$$

となる。

(ア) の解答群

0　$nRpV$　　1　$\dfrac{nR}{pV}$　　2　$\dfrac{RpV}{n}$　　3　$\dfrac{npV}{R}$　　4　$\dfrac{pV}{nR}$

(イ) の解答群

0　nRT　　1　$nR\Delta T$　　2　$nR(T+\Delta T)$　　3　$2nRT$

4　$\dfrac{nRT}{2}$　　5　$2nR\Delta T$　　6　$\dfrac{nR\Delta T}{2}$

(ウ), (エ) の解答群

0　$C_v\Delta T$　　1　$nC_v\Delta T$　　2　$C_v\Delta T+R\Delta T$

3　$C_v\Delta T+nR\Delta T$　　4　$C_v\Delta T+2R\Delta T$　　5　$C_v\Delta T+2nR\Delta T$

6　$nC_v\Delta T+R\Delta T$　　7　$nC_v\Delta T+nR\Delta T$　　8　$nC_v\Delta T+2R\Delta T$

9　$nC_v\Delta T+2nR\Delta T$

⑵　図１のＡからＢへ気塊が移動したときの温度変化を考える。このとき，気塊は水蒸気を含んでいるが,その影響は無視して理想気体の結果を適用してよい。気塊が山を登るとき，地表面からの鉛直方向の高さ(以下，高度と呼ぶ)によって大気圧が異なる。いま，図２に示すような底面が単位面積の気塊の柱(気柱)を考え，高度z〔m〕における気圧をp_0〔Pa〕，$z+\Delta z$〔m〕における気圧を$p_0+\Delta p$〔Pa〕とすると，高度差Δz〔m〕による気圧の差は図２の斜線部内の空気に働く重力によって生ずる。空気の密度をρ〔kg/m^3〕とすると，$|\Delta p|=$ ㈿ である。

気塊が上昇，下降している場合，熱の出入りによる影響よりも膨張や圧縮による影響がはるかに大きいので，断熱変化をすると仮定することができる。このとき(式Ⅱ)より$\Delta T=$ ㈲ $\times\Delta p$である。この式に ㈿ を代入し，VとnをMとρで表すことにより

$$\frac{\Delta T}{\Delta z}= \boxed{(キ)} \text{〔K/m〕} \qquad \text{(式Ⅲ)}$$

となる。$\dfrac{\Delta T}{\Delta z}$は一定なので，温度の変化は高度の変化に比例する。ＡからＢに変化するときの高度の変化は1000 mなので，

$$T_B-T_A= \boxed{(ク)} \text{K}$$

となる。

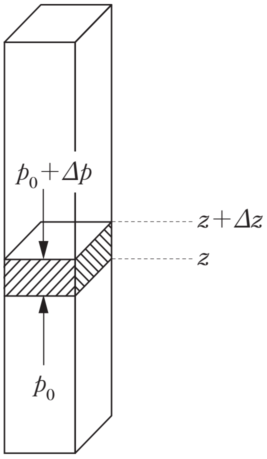


図２

(3) ＢからＣへ気塊が移動する場合は，水蒸気が水滴に変化して雲が生じる際に熱を放出するため,(2)の理想気体の計算をそのまま適用することはできない。その影響を考慮すると，$T_C - T_B = -5$Kとなる。一方，ＣからＤへ移動するときは，気塊は水滴を含んでいないので，（式Ⅲ）を用いて，$T_D - T_C =$ ［(ケ)］Kとなる。よって $T_D - T_A =$ ［(コ)］Kとなる。

［(オ)］の解答群

0　$\rho g\Delta z$　　1　$\dfrac{\rho g\Delta z}{2}$　　2　$\dfrac{\rho g\Delta z}{4}$　　3　$2\rho g\Delta z$

4　$4\rho g\Delta z$

［(カ)］の解答群

0　$\dfrac{V}{nC_v}$　　1　$\dfrac{nV}{C_v}$　　2　$\dfrac{C_v}{nV}$　　3　$\dfrac{nC_v}{V}$

4　$\dfrac{V}{nC_p}$　　5　$\dfrac{nV}{C_p}$　　6　$\dfrac{C_p}{nV}$　　7　$\dfrac{nC_p}{V}$

［(キ)］の解答群

0　$\dfrac{Mg}{C_v}$　　1　$\dfrac{C_v}{Mg}$　　2　$\dfrac{Mg}{C_p}$　　3　$\dfrac{C_p}{Mg}$

4　$-\dfrac{Mg}{C_v}$　　5　$-\dfrac{C_v}{Mg}$　　6　$-\dfrac{Mg}{C_p}$　　7　$-\dfrac{C_p}{Mg}$

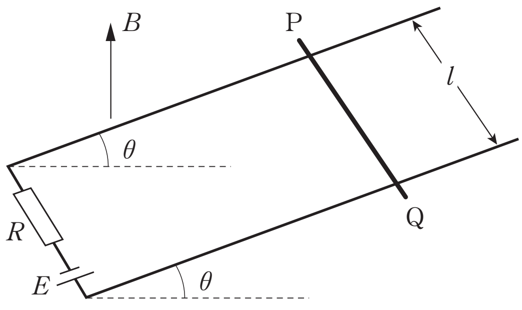
［(ク)］,［(ケ)］,［(コ)］の解答群

0　－20　　1　－15　　2　－10　　3　－5　　4　0

5　5　　6　10　　7　15　　8　20　　9　25

第３講　電磁気学

5



図のように，磁束密度B〔T〕の鉛直上向きの一様な磁場中に，長い２本の平行な導体のレールが水平面に対して角度θ〔rad〕$\left(0<\theta<\dfrac{\pi}{2}\right)$で固定されており，レールの下端には，起電力$E$〔V〕の電池と抵抗値$R$〔Ω〕の抵抗が接続されている。レールの間隔は$l$〔m〕である。レールの上に質量$m$〔kg〕の導体棒PQをレールに直角に静かに置く。導体棒PQはつねにレールに直角に接したままレールの上を運動できるとする。レールと導体棒の電気抵抗，レールと導体棒の間の摩擦，導体棒の運動に伴う空気抵抗，回路の自己誘導は無視できるものとする。重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕として，以下の問に答えよ。

(1)　導体棒PQがレール上で静止する時の電池の起電力をE_0〔V〕とする。この起電力E_0を求めよ。

以下では，電池の起電力EがE_0より大きい場合$(E>E_0)$について考える。この場合には，導体棒はレールに沿って上向きに動き始める。その後，導体棒の速さは徐々に増大する。導体棒の速さがv〔m/s〕になったときについて考える。

(2)　導体棒に生じる誘導起電力の大きさを求めよ。

(3)　導体棒に流れる電流の大きさを求めよ。

(4)　導体棒が磁場から受ける力の大きさを求めよ。

十分に長い時間がたつと，導体棒は一定の速度で運動するようになる。このときについて考える。

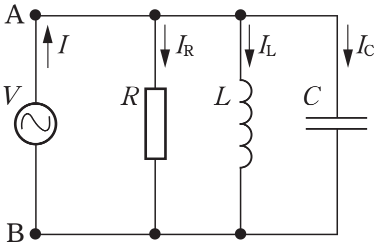
(5)　導体棒の速度の大きさを求めよ。

(6)　導体棒に流れる電流の大きさを求めよ。

(7)　次の文中の［　　］には数式，[　　]には適切な語句を記入せよ。

電池が回路全体に供給する電力P_0は，P_0＝［(ア)］〔W〕である。この電力P_0は，抵抗での１秒間あたりの[(イ)]P_1＝［(ウ)］〔J/s〕と導体棒の１秒間あたりの[(エ)]P_2＝［(オ)］〔J/s〕に使われる。これら３つの量P_0，P_1，P_2の間には，［(カ)］の関係があり，エネルギーの保存則が[(キ)]ことがわかる。

6



図のように，抵抗値Rの抵抗，自己インダクタンスLのコイル，電気容量Cのコンデンサーを接続した。この回路に交流電源を接続し，点Bに対する点Aの電位が$V = V_0 \sin \omega t$となる電圧を加えた。ここで，V_0はVの最大値，ωは角周波数，tは時刻である。抵抗，コイル，コンデンサーに流れる電流をそれぞれI_R，I_L，I_Cとし，図の矢印の向きの電流を正として，以下の文中の［　　］内に入れるのに適当なものを解答群の中からひとつ選べ。

抵抗に流れる電流は$I_R =$［(1)］$\times \sin$(［(2)］)となる。コイルに流れる電流I_Lの最大値は［(3)］であり，コイルに流れる電流の位相は電圧の位相より$\frac{\pi}{2}$だけ遅れるから，

$I_L =$［(3)］$\times \sin$(［(4)］)$=$［(5)］$\times \cos \omega t$と表せる。

コンデンサーに流れる電流I_Cの最大値は［(6)］であり，コンデンサーに流れる電流の位相は電圧の位相より$\frac{\pi}{2}$だけ進むから，

$I_C =$［(6)］$\times \sin$(［(7)］)$=$［(8)］$\times \cos \omega t$ と表せる。

以上より，電源を流れる電流は，

$I = I_R + I_L + I_C =$［(9)］$\times \sin \omega t +$［(10)］$\times \cos \omega t$ と表せる。これを，インピーダンスZと，電源電圧と電流との位相差θを用いて$I = \frac{V_0}{Z} \sin(\omega t + \theta)$という形に表すと，$\frac{1}{Z} =$［(11)］，

$\tan\theta =$［(12)］$\left(-\frac{\pi}{2} \leqq \theta \leqq \frac{\pi}{2}\right)$となる。したがって，電源に流れる電流が最小になるのは，

$\omega =$［(13)］のときである。

解答群

〔11〕 $\dfrac{V_0}{R}$　〔12〕 $-\dfrac{V_0}{R}$　〔13〕 RV_0　〔14〕 $-RV_0$　〔15〕 $\dfrac{V_0}{\omega L}$

〔16〕 $-\dfrac{V_0}{\omega L}$　〔17〕 ωLV_0　〔18〕 $-\omega LV_0$　〔19〕 $\dfrac{V_0}{\omega C}$　〔20〕 $-\dfrac{V_0}{\omega C}$

〔21〕 ωCV_0　〔22〕 $-\omega CV_0$　〔23〕 $\omega t-\dfrac{\pi}{2}$　〔24〕 ωt　〔25〕 $\omega t+\dfrac{\pi}{2}$

〔26〕 $\left(\omega C-\dfrac{1}{\omega L}\right)V_0$　〔27〕 $\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)V_0$　〔28〕 $\left(\omega C+\dfrac{1}{\omega L}\right)V_0$

〔29〕 $\sqrt{R^2+\left(\omega C-\dfrac{1}{\omega L}\right)^2}$　〔30〕 $\sqrt{\left(\dfrac{1}{R}\right)^2+\left(\omega C-\dfrac{1}{\omega L}\right)^2}$

〔31〕 $\sqrt{\left(\dfrac{1}{R}\right)^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$　〔32〕 $\dfrac{\omega C-\dfrac{1}{\omega L}}{R}$　〔33〕 $\dfrac{\omega L-\dfrac{1}{\omega C}}{\dfrac{1}{R}}$

〔34〕 $\dfrac{\omega C-\dfrac{1}{\omega L}}{\dfrac{1}{R}}$　〔35〕 $\sqrt{\dfrac{C}{L}}$　〔36〕 $\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$　〔37〕 $\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$

第４講　波動・原子

7

互いに振動数の近い３つのおんさＡ，Ｂ，Ｃがある。おんさＡの振動数は2000 Hzであることがわかっている。おんさＢ，Ｃの振動数を調べるため，いくつかの組み合わせで同時に2つのおんさを鳴らしてみたら1秒あたりの回数が次のようなうなりが聞こえた。

おんさＡとＢ：2.0回
おんさＡとＣ：1.0回
おんさＢとＣ：3.0回

おんさＡとＢを同時に鳴らしながら，図１のようにおんさＢを一定の速さで観測者に近づけた。近づける速さがv_1の場合にうなりが消えた。以下の問いに答えよ。なお，問２から問４までは音速を3.5×10^2 m/sとする。

問１　おんさＢとおんさＣの振動数を求めよ。

問２　v_1の値を求めよ。

次に音を反射する板とおんさＡを使って実験をした。図２のように，板の正面でおんさＡを鳴らしながら速さv_2で板に近づける。観測者はおんさＡの後方に位置する。

問３　静止している観測者には１秒あたり2.0回のうなりが聞こえた。v_2の値を求めよ。
計算の際には，$|x|$が十分に小さいときに成り立つ近似式

$$\frac{1}{1+x}\fallingdotseq 1-x$$

を使ってよい。

問４　観測者が，図３のようにおんさＡと同じ速度でおんさの後をついていくと，うなりは１秒あたり何回になるか。

問5　室内の気温をとても低くして図2の実験をする。観測者が聞くうなりが１秒あたり2.0回とするには，おんさＡの速さをv_2より大きくしないといけないか，それとも小さくしないといけないか。理由をつけて答えよ。ただし，おんさの振動数は変わらないものとする。

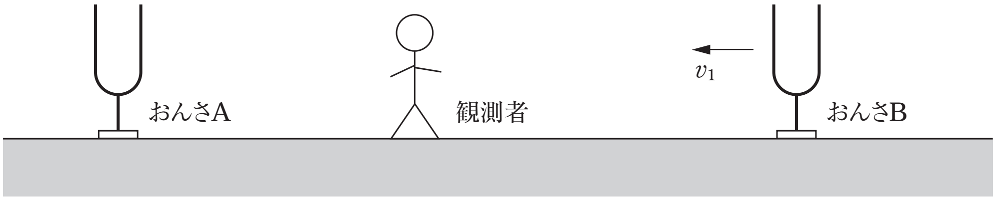


図 1

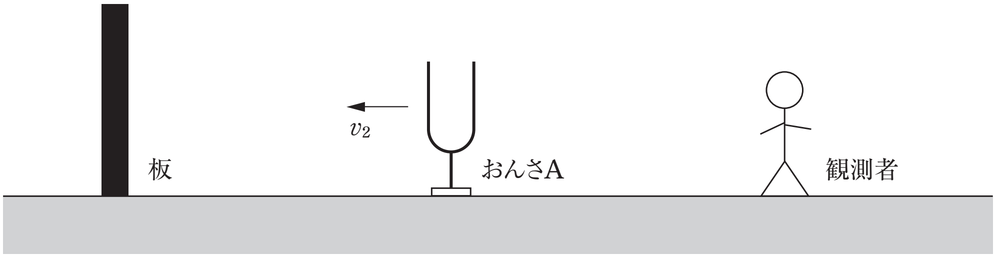


図 2

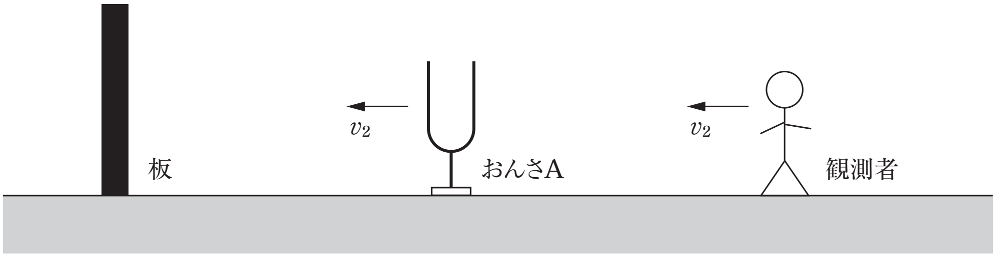


図 3

8

ボーアの原子モデルに関する次の文章(Ⅰ，Ⅱ)を読み，空欄［ア］〜［エ］を適切に埋め，下の問い(問１〜5)に簡潔な説明をつけて答えよ。ただし，光速をc〔m/s〕，電気素量をe〔C〕，電子の質量をm〔kg〕，真空中の静電気力に関するクーロンの法則の比例定数をk〔N･m^2/C^2〕，プランク定数をh〔J･s〕とする。万有引力は静電気力に比べて非常に小さいのでこの問題では無視する。

Ⅰ　水素原子は$+e$の電荷をもつ原子核と$-e$の電荷をもつ電子で構成される。原子核や電子の大きさは非常に小さく，ここでは質点と考えてよい。電子は，静電気力を受けて原子核を中心に半径r〔m〕，速さv〔m/s〕の等速円運動をしている。等速円運動の向心力を生じさせている静電気力の大きさはe，k，rを用いて［ア］と表されるので電子の運動方程式はe，k，m，r，vを用いて［イ］と表される。nを量子数と呼ばれる１以上の整数として，円軌道の円周の長さは，電子のド・ブロイ波長λ〔m〕のn倍になるという条件を満たす状態を定常状態という。また，電子のド･ブロイ波長λはh，m，vを用いて［ウ］と表される。このことより下線部は$mvr=$［エ］(h，nを用いよ)と表される。定常状態のときは電子のエネルギーは一定である。電子がある量子数の定常状態から別の量子数の定常状態に移るとき，それぞれの定常状態でのエネルギーの差に等しいエネルギーを持つ一つの光子が放出または吸収される。

問1　量子数がnの定常状態での水素原子の電子の軌道半径rをe，h，k，m，nを用いて表せ。

問2　水素原子の電子のエネルギーは，電子の運動エネルギーと，電子と原子核の間にはたらく静電気力による位置エネルギーの和に等しい。量子数がnの定常状態での電子のエネルギーE_n〔J〕をe，h，k，m，nを用いて表せ。ただし，電荷Q〔C〕($Q>0$)からx〔m〕だけ離れた点で電子が持つ電荷による位置エネルギーは無限遠を基準にとると$-k\dfrac{eQ}{x}$で与えられる。

問3　水素原子の電子が量子数n_aの定常状態から量子数n_b($n_a<n_b$)の定常状態に移るとき，光子は放出されるか吸収されるか理由をつけて答えよ。そのときの光子の波長をλ_{ab}〔m〕とする。$\dfrac{1}{\lambda_{ab}}$をc，e，h，k，m，n_a，n_bを用いて表せ。

Ⅱ　原子番号Zの原子が$+(Z-1)$価にイオン化したものを水素様イオンという。例えば$Z=2$であるヘリウムの＋１価イオン：He^+は水素様イオンの一つである。水素様イオンでは，原子核を中心として回る電子は１個なので，原子核がもつ電荷が$+Ze$であること以外は水素原子と同様に考えることができる。

問4　水素原子の電子の軌道半径のうち最も小さいものはボーア半径と呼ばれる。ボーア半径をr_{B}〔m〕として量子数がnの定常状態での原子番号Zの水素様イオンの電子の軌道半径r'〔m〕をn，r_{B}，Zを用いて表せ。

問5　水素原子の電子が量子数２の定常状態から量子数１の定常状態に移るときに放出または吸収される光子の波長をλ_{21}〔m〕とし，He^{+}の電子が量子数３の定常状態から量子数２の定常状態に移るときに放出または吸収される光子の波長をλ'_{32}〔m〕とする。$\dfrac{\lambda'_{32}}{\lambda_{21}}$を有効数字３桁の数値で表せ。

テキスト解答

第１講

1

1 ⑤　2 ③　3 ⑧　4 ③　5 ⑦　6 ③　7 ②　8 ⑦

2

⑴ ㈠ mg　㈡ $Mg-2T$

⑵ ㈠ $2h$　㈡ $+Mgh$　㈢ $(M-2m)gh$　㈣ $\sqrt{\dfrac{2(M-2m)}{M+4m}gh}$

第２講

3

(あ) ①　(い) ③　(う) ④　(え) ②

(ア) ⑤　(イ) ⑥　(ウ) ⑦　(エ) ⑧　(オ) ⑦　(カ) ⑧

(a) 0　(b) $\frac{3}{2}R(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{A}})$　(c) $\frac{3}{2}R(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{C}})$　(d) $R(T_{\mathrm{C}}-T_{\mathrm{A}})$

(e) $\frac{5}{2}R(T_{\mathrm{C}}-T_{\mathrm{A}})$

4

(1) (ア) 4　(イ) 1　(ウ) 1　(エ) 7

(2) (オ) 0　(カ) 4　(キ) 6　(ク) 2

(3) (ケ) 8　(コ) 5

第３講

5

(1) $\dfrac{mgR\sin\theta}{Bl\cos\theta}$　(2) $vBl\cos\theta$　(3) $\dfrac{E-vBl\cos\theta}{R}$

(4) $\dfrac{(E-vBl\cos\theta)Bl}{R}$　(5) $\dfrac{1}{Bl\cos\theta}\left(E-\dfrac{mgR\sin\theta}{Bl\cos\theta}\right)$

(6) $\dfrac{mg\sin\theta}{Bl\cos\theta}$

(7) (ア) $\dfrac{mgE\sin\theta}{Bl\cos\theta}$

(イ) ジュール熱

(ウ) $R\left(\dfrac{mg\sin\theta}{Bl\cos\theta}\right)^2$

(エ) 位置エネルギーの増加

(オ) $\dfrac{mg\sin\theta}{Bl\cos\theta}\left(E-\dfrac{mgR\sin\theta}{Bl\cos\theta}\right)$

(カ) $P_0=P_1+P_2$

(キ) 成り立つ

6

(1) 〔11〕　(2) 〔24〕　(3) 〔15〕　(4) 〔23〕　(5) 〔16〕

(6) 〔21〕　(7) 〔25〕　(8) 〔21〕　(9) 〔11〕　(10) 〔26〕

(11) 〔30〕　(12) 〔34〕　(13) 〔37〕

第４講

7

問１　おんさB　1998〔Hz〕　　おんさC　2001〔Hz〕

問２　3.5×10^{-1}〔m/s〕

問３　1.8×10^{-1}〔m/s〕

問４　2（回）

問５　v_2を小さくしないといけない（理由は略）

8

ア　$k\dfrac{e^2}{r^2}$　　イ　$m\dfrac{v^2}{r}=k\dfrac{e^2}{r^2}$　　ウ　$\dfrac{h}{mv}$　　エ　$\dfrac{nh}{2\pi}$

問１　$r=\dfrac{n^2h^2}{4\pi^2kme^2}$〔m〕

問２　$E_n=-\dfrac{2\pi^2k^2me^4}{h^2}\cdot\dfrac{1}{n^2}$〔J〕

問３　光子は吸収される（理由は略）　　$\dfrac{1}{\lambda_{\mathrm{ab}}}=\dfrac{2\pi^2k^2me^4}{h^3c}\left(\dfrac{1}{{n_\mathrm{a}}^2}-\dfrac{1}{{n_\mathrm{b}}^2}\right)$〔1/m〕

問４　$r'=\dfrac{n^2}{Z}r_\mathrm{B}$〔m〕

問５　1.35

Ⓒ RECRUIT
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。